

영산강 하구언 방류에 의한 목포항 주변해역의 오염확산양상

Pollutant Dispersion Mechanism near Mokpo Harbor Due to the Discharges from Youngsan River Seadike

안순섭*, 강주환**, 박선중***

Soon Sub An, Ju Whan Kang, Seon Jung Park

요 지

본 연구에서는 영산강 하구언 배수갑문의 개방으로 대량의 담수가 방류될 경우 목포항 인근해역의 해수유동 변화와 이에 수반되는 부유물질/염분 농도의 시공간적인 변화를 파악하기 위해 방류조건과 확산성분별로 12가지의 계산 시나리오를 구성하고 MIKE21의 해수유동(HD)모듈과 오염확산(AD)모듈을 이용하여 하구언 방류의 영향을 살펴보았다. 해수유동 모의결과, 배수갑문과의 거리에 따라 방류조건별로 수위와 유속이 최대 144.5cm, 175.6cm/sec까지 상승하였다. 특히 청계만 수역에서는 방류시기에 낙조시 유속이 최대 68.8cm/sec까지 감소해 방류에 따른 수위상승으로 낙조시 해수유출이 지체되는 것으로 판단된다. 부유물질 확산모의 결과, 목포 기준검조소를 기준으로 목포항 내부수역은 원활한 해수순환이 이루어지지 않아 각종 오염원 유입시 외해로 쉽게 확산되거나 희석되지 못하고 계속 정체되는 것으로 나타나 항내 오염이 심각하게 우려되며, 특히 연속적인 담수 방류와 방류량의 크기가 내부수역의 부유물질 농도 감소에 큰 영향을 미치는 것으로 판단됨에 따라 방류량이 작고 연속 방류가 행해지지 않는 비우기시의 오염은 더욱 심해질 것으로 판단된다. 방류조건별 염분농도 역시 방류량이 크고, 연속적인 담수 방류가 행해질 경우 농도가 도 크게 감소하며 확산면적도 증가하였다.

핵심용어 : 영산강 하구언, 담수방류, 해수유동, 부유물질 농도, 염분 농도, 목포해역

1. 서 론

목포해역은 무안반도, 영암반도, 화원반도와 부근에 크고 작은 섬들로 둘러싸인 반폐쇄형 해역(그림 1 생략)으로 1970년대 이후 각종 대규모 연안개발사업의 시행과 함께 주변해역의 환경변화가 그 어느 해역보다 빠르게 진행되어 왔다. 특히 영산강 하구언(1980년), 영암(1991년) 및 금호방조제(1994년) 축조 이후 대규모 감소하천의 차단은 목포항 인근해역을 유속이 거의 없는 정체수역으로 변화시켰다. 이러한 인위적인 흐름 변화는 오염확산 및 침·퇴적 양상에도 적지 않은 변화를 수반하게 되어 연안해역의 환경변화에 큰 영향을 미치고 있다(강주환 등, 1998). 하구언/방조제 축조로 조류에 의한 해수교환은 크게 둔화되어 목포항내로 유입되는 각종 오염원은 외해로 쉽게 확산되거나 희석되지 못하고 항내에 정체·축적되었다가 영산호로부터 간헐적으로 방류되는 담수와 취송류에 의해 외해로 확산되는 양상을 보이고 있다.

* 한국농촌공사 나주지사 유지관리팀장·E-mail : ss1008@empal.com

** 정회원·목포대학교 건설공학부 토목공학전공 교수·E-mail : jwkang@mokpo.ac.kr

*** 정회원·목포대학교 대학원 건설환경협동과정 박사과정·E-mail : sjpark@mokpo.ac.kr

본 연구에서는 영산강 하구언 배수갑문의 개방으로 대량의 담수가 방류될 경우 목포항 인근해역의 해수유동 변화와 이와 동반되는 부유물질/염분 농도의 시공간적인 변화를 파악하기 위해 12가지의 계산 시나리오를 구성하고 하구언 방류의 영향을 살펴보았다. 2000년 이후 하구언 방류자료를 종합하여 우기시(6월~9월)와 비우기시(1월~5월, 10월~12월)로 구분하여 방류조건을 선정하였고, 더불어 선행연구(박선중 등, 2007)에서 계산된 영산호의 100년 빈도 홍수량 유입시 방류조건과 배수갑문 확장시 방류조건에 대한 변화도 살펴보았다.

2. 영산강 하구언 방류현황

하구언 배수갑문은 폭 30m, 높이 13.6m의 Sulice Gate 8련으로 구성되어 있으며, 담수호의 수위가 계획홍수위(EL.(+)1.64m)를 초과하거나 초과할 우려가 있을 때, 홍수기간 중의 수위조절, 제염 및 수질개선 등을 위해 하구언 내·외수위차가 20cm 이상일 때 배수갑문을 개방하여 방류를 실시한다(농업기반공사, 2004). 표 1(생략)은 2000년 이후 영산강 하구언 배수갑문을 통한 연도별 방류현황을 나타낸 것으로, 연평균 108회 배수갑문을 개방하여 평균 144분 동안 $17,292 \times 10^3 \text{ton}$ 의 담수가 방류되었다. 연간 최대 방류량은 2003년에 $2,870,613 \times 10^3 \text{ton}$ 이 방류되었으며, 1회 배수갑문 개방시 최대 평균 방류량은 2002년의 $23,841 \times 10^3 \text{ton}$ 이었다. 표 2(생략)는 장마전선과 태풍의 영향을 받는 6월~9월까지를 우기시로 구분하고, 나머지 기간을 비우기시로 구분하여 2000년 이후의 방류현황을 나타낸 것으로, 방류량의 80%가 우기시에 방류되었으며, 약 1.6일에 1회 꼴로 평균 154분 동안 $10,402,259 \times 10^3 \text{ton}$ 이 방류되었다. 비우기시의 방류량과 방류시간은 크게 감소되어 약 7.4일에 1회 배수갑문을 평균 123분 동안 개방하여 $2,616,779 \times 10^3 \text{ton}$ 의 담수를 방류하였다. 2000년 이후 1회 배수갑문 개방시 최대 방류량은 2002년 8월 15일 217분 동안 총 $268,828 \times 10^3 \text{ton}$ ($20,647.3 \text{ m}^3/\text{sec}$)이 방류되었다.

3. 수치모의

3.1 모형의 개요

본 연구에서는 덴마크 DHI사 MIKE21 모형의 13개 모듈 중 여러 차례의 선행연구(강주환 등, 2004; 2005a; 2005b)를 통해 실제 해역에 대한 적용성이 검증된 바 있는 HD(Hydrodynamic, 해수유동) 모듈과 AD(Advection Dispersion, 오염확산) 모듈을 사용하여 수치모의를 수행하였으며, 각 모듈의 자세한 내용은 생략하였다. 적용된 수심도 및 외해경계조건 등은 선행연구(강주환 등, 2005a)를 통해 검증된 X, Y 양방향 180m의 광역모형(600×600)과 경계조건을 적용하였으며, 시간간격(Δt)은 15sec, Courant 수는 2.12로 설정하여 15일간 모의하였다.

3.2 계산조건 및 시나리오

해수유동 및 부유물질/염분 농도의 시공간적 변화에 미치는 담수방류의 영향을 고찰하기 위해 표 2의 방류현황을 토대로 표 3과 같은 12가지의 시나리오를 구성하였다. 담수방류는 하구언 전면에 두 개의 Source 격자를 지정하고 낙조시 조위가 평균해면 이상일 때 방류가 시작되도록 설정하였으며, 담수의 방류속도는 실제 배수갑문의 폭(240m)과 수치모형의 Source 격자($180\text{m} \times 2$)와의 차이를 감안해 설정하였다. 부유물질 농도는 담수방류에 따른 확산양상 파악이 용이하도록 고하도 복단(P4)을 기준으로 내부수역에만 100ppm의 초기농도를 부여하였으며, 염분의 초기치는 해양은 30psu, 방류담수는 0psu로 설정하였다.

표 3. 수치모의 시나리오

시나리오	조위조건	방류조건	방류횟수	확산성분	비 고
CASE-1	평균고조	방류무	-	SS (100ppm)	목포항 내부수역에만 부여
CASE-2		우기시 평균방류량 (2,152.6m ³ /sec)	1회/3조석주기		
CASE-3		비우기시 평균방류량 (1,541.6m ³ /sec)	1회/14조석주기		
CASE-4		최대방류량 (20,647.3m ³ /sec)	1회		
CASE-5		100년 빈도 홍수량 유입시 방류량 (6,646.9m ³ /sec)	-		
CASE-6		100년 빈도 홍수량 유입 + 갑문증설(420m)시 방류량(7295.2m ³ /sec)	-		
CASE-7		방류무	-	염분 (30psu)	담수(0psu)
CASE-8		우기시 평균방류량 (2,152.6m ³ /sec)	1회/3조석주기		
CASE-9		비우기시 평균방류량 (1,541.6m ³ /sec)	1회/14조석주기		
CASE-10		최대방류량 (20,647.3m ³ /sec)	1회		
CASE-11		100년 빈도 홍수량 유입시 방류량 (평균 6,646.9m ³ /sec)	-		
CASE-12		100년 빈도 홍수량 유입+ 갑문증설(420m)시 방류량(평균7295.2m ³ /sec)	-		

방류조건 중 우기시 평균방류량(CASE-2, 7) 조건은 평균 1.6일에 1회 꼴로 방류되는 것을 감안하여 3 조석주기에 1회 방류되어 모의기간 동안 총 9회 방류되도록 설정하였고, 비우기시 평균방류량(CASE-3, 8) 조건은 14 조석주기에 1회 방류되도록 설정하여 모의기간 동안 총 2회 방류되도록 설정하였다. 최대 방류량(CASE-4, 10)은 1회만 방류하여 방류 영향을 살펴보았다. 100년 빈도 홍수량 유입시 방류량(CASE-5, 11) 및 갑문증설시 방류량(CASE-6, 12)은 이전연구(박선중 등, 2007)에서 구축된 영산강 하류부의 홍수추적모형(HEC-RAS)에 외조위 조건을 평균고조위로 설정한 후 방류량을 산정해 적용하였다(그림 2 생략). 여기서 방류량 산정시 배수갑문의 개폐는 하구둑 관리규정을 토대로 하구둑 내·외측의 수위차가 0.2m 이상일 경우 수문을 개방하며, 0.2m 이하일 경우 수문을 폐쇄하도록 설정하였으며, 영산호 초기수위는 영산호의 상시 만수위인 EL.(-)1.35m로 설정하여 모의하였다. 배수갑문 확장시 방류량은 수위 하강효과와 계획홍수위 초과시간 등을 감안하여 현재 240m(8련)인 배수갑문을 420m(14련)로 확장하였을 경우 산정된 방류량을 적용하였다.

3.3 수치모의 결과

3.3.1 해수유동 모의결과

표 4(생략)는 방류량 조건별로 주요지점에서의 수위/유속변화를 나타낸 것이다. 방류량이 작은 우기시/비우기시 평균 방류량 방류조건에서는 배수갑문과의 거리가 약 6.5km 이내인 목포 기준검조소(P3 지점) 내측수역에서만 10cm 이상으로 수위가 상승했을 뿐 그 외 지점에서는 10cm 이내로 작게 나타났다. 반면 최대 방류량 조건과 100년 빈도 홍수량 유입시 및 갑문증설시 방류량 조건에서는 수위가 크게 증가하여 내부수역의 주요 지점별로 배수갑문과의 거리에 따라 20.7~144.5cm의 수위 상승이 나타났다. 특히 영암(P10) 및 금호방조제(P11) 전면과 청계만 해역(P17~19)까지도 수위가 크게 상승하고 있는데, 이는 목포항 수역의 해수 유·출입 수로인 목포구(P7),

중구(P13), 북구(P15)의 세 곳의 수로단면이 대량의 방류량을 감당하기에는 협소해 내부수역에 정체됨으로써 나타나는 현상으로 판단된다. 유속 또한 배수갑문과의 거리에 따라 최대 175.6cm/sec 까지 증가하였으며, 세 곳의 수로에서의 유속상승이 뚜렷이 나타나고 있으며, 수로를 벗어날 경우 유속 증가 양상은 크게 둔화되었다. 특히 북항(P20)을 기준으로 청계만 수역에서는 방류시기에 낙조시 유속이 34.3~68.8cm/sec까지 감소하는 것으로 나타나 방류에 따른 수위상승으로 낙조시 해수유출이 지체되는 것으로 판단된다(그림 3 생략).

3.3.2 부유물질/염분 농도의 시공간적 변화

가. 부유물질 농도변화

표 5는 부유물질의 농도변화를 최초 방류 후 경과 일자별로 정리한 것으로, 배수갑문(P1)에서 조랑 분담율이 가장 큰 목포구 외부(P9)까지의 자료만을 제시하였다. 방류를 고려하지 않을 경우(CASE-1) 목포 기준검조소(P3) 지점에서의 부유물질 농도는 7일 후 43.0%(57.0ppm), 14일 후 57.2%(42.8ppm) 감소하였으며, 배수갑문 전면에서는 7일 후 1.7%(98.3ppm), 14일 후 10.3%(89.7ppm) 감소하는데 그쳤다. 그러나 초기농도를 부여한 고하도 복단(P4) 수역에서는 14일 후 13.9ppm까지 농도가 낮아져 대부분의 부유물질이 확산되는 것으로 나타나 목포 기준검조소 부근을 기준으로 해수교환율은 크게 떨어져 해수순환이 거의 이루어 지지 않아 부유물질이 내부수역에 계속 정체되는 것으로 나타났다. 그 외 목포구 내부지점에서의 농도는 10ppm이하로 낮게 나타났으며, 목포구를 벗어날 경우 부유물질은 거의 나타나지 않았다. 우기시(CASE-2)/비우기시 평균방류 조건(CASE-3)에서도 목포 기준검조소 부근을 기준으로 농도차이가 뚜렷하게 나타나고 있다. 그러나 CASE-3에서 배수갑문 전면(P1)의 14일 경과 후 농도는 67.7ppm으로 오히려 증가하였는데, 이는 방류직후 부유물질이 배수갑문 인근수역으로 확산됨으로써 감소되었던 농도가 배수갑문 폐문 후 재 유입되었기 때문이다. 최대 방류량 방류시(CASE-4)에서는 고하도 복단에서 목포구 내부수역에서의 농도는 다른 지점보다 크게 나타나고 있다. 이는 방류시 유속상승으로 대부분의 부유물질이 목포구 주변수역으로 확산되므로 목포 기준검조소 내부수역의 농도는 낮아진 반면, 목포구 내부수역은 방류량에 의한 해수정체와 배수갑문 차단 후 유속감소 및 유입되는 창조류로 의해 확산되지 못하고 부근수역에 정체되기 때문에 다른 지점에 비해 농도가 크게 나타나고 있는 것으로 판단된다. 100년 빈도 홍수량 유입시(CASE-5) 및 갑문증설시 방류량 조건(CASE-6)에서는 12일 경과 후 모든 지점에서 6.5ppm 이하로 다른 방류조건과 비교해 볼 때 전 수역에서 가장 낮은 농도분포를 보이고 있다. 이는 그림 2와 같이 큰 방류량과 긴 방류시간 그리고 연속 방류가 행해졌기 때문에 다른 방류조건에 비해 해수순환이 가장 활발히 이루어져 부유물질의 대부분이 확산되고 있음을 보이고 있다.

나. 염분 농도변화

그림 4~8(생략)은 방류조건별로 1회 방류 완료 후와 모의 완료 후의 염분 농도분포를 나타낸 것이다. 우기시 평균방류시(CASE-8, 그림 4 생략) 1회 방류 완료 후 배수갑문에서 2km 이내 수역에서만 농도가 변화되며, 최저 2psu 까지 감소되었다. 모의 완료 후(7회 방류) 배수갑문 부근에서는 평균 2.2psu, 목포 기준검조소 인근에서는 평균 18.6psu, 그 외 수역에서는 평균 28.9psu 수준을 나타냈다. 비우기시(CASE-9, 그림 5 생략)의 경우 1회 방류 완료 후 배수갑문에서 1km 이내 수역에서만 최저 5psu까지 농도가 감소되었으며, 모의 완료 후(2회 방류) 배수갑문 부근에서 2km 이내 수역에서만 평균 24.2psu의 농도분포를 보일 뿐 그 외 수역에서는 거의 변화가 나타나

지 않았다. 최대 방류시(CASE-10, 그림 6 생략) 1회 방류 완료 후 목포구 내부수역에서 1~25psu의 농도분포가 나타났으나, 연속되는 방류가 없으므로 방류 완료 후 농도는 점차 증가하여 모의 완료 후 배수갑문 부근에서 평균 6.2psu, 목포 기준검조소 인근에서는 평균 19.7 psu, 그 외 수역에서는 27.0psu의 농도분포가 나타났다. 100년 빈도 홍수량 유입시(CASE-11, 그림 7 생략) 및 갑문증설시 방류량 조건(CASE-12, 그림 8 생략)의 경우 다른 방류조건에 비해 상대적으로 크게 감소되었으며, 압해도 남측 수역까지 평균 20psu의 농도분포를 보이고 있다. 두 시나리오는 지점별로 농도의 차이는 거의 없었으며, 분포양상도 거의 유사하게 나타나고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 하구인 배수갑문의 개방에 따른 담수 방류시 목포항 인근해역의 해수유동 변화와 부유물질/염분 농도의 시공간적인 변화를 다양한 방류조건을 설정하여 살펴보았다.

해수유동 모의결과 배수갑문과의 거리에 따라 방류조건별로 수위와 유속이 최대 144.5cm, 175.6cm/sec까지 상승하였다. 특히 청계만 수역에서는 방류시기에 낙조시 유속이 최대 68.8cm/sec까지 감소해 방류에 따른 수위상승으로 낙조시 해수유출이 지체되는 것으로 판단된다.

부유물질 확산모의 결과, 목포 기준검조소를 기준으로 목포항 내부수역은 원활한 해수순환이 이루어지지 않아 각종 오염원 유입시 외해로 쉽게 확산되거나 회석되지 못하고 계속 정체되는 것으로 나타나 항내 오염이 심각하게 우려되며, 특히 연속적인 담수 방류와 방류량의 크기가 내부수역의 부유물질 농도 감소에 큰 영향을 미치는 것으로 판단됨에 따라 방류량이 작고 연속 방류가 행해지지 않는 비우기시의 오염은 더욱 심해질 것으로 판단된다. 방류조건별 염분농도 역시 방류량이 크고, 연속적인 담수 방류가 행해질 경우 농도가 크게 감소하며 확산면적도 증가하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 지역특성화연구개발사업의 연구비지원(C105E1030001-06E020300110)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 강주환, 임병선(1998). 방조제 건설로 인한 목포해역에서의 오염확산양상 변화, 대한토목학회 논문집, 제18권 제II-6호, pp.613~622.
2. 강주환, 문승록, 박선중(2004). 해수유동모형에서 조간대 모의의 필요성, 대한토목학회 논문집, 제24권 제III-B호, pp.259~265.
3. 강주환, 문승록, 박선중(2005a). 조석확폭에 수반되는 조간대 영역 확대의 영향성, 한국해양·해양공학회지, 제17권 1호, pp.47~54.
4. 강주환, 박선중, 문승록, 박민원(2005b) 목포해역의 확산양상, 공업기술논문집, 제5집. pp.527~532.
5. 농업기반공사 영산강사업단(2005). '04 관리연보(하구둑, 영암, 금호방조제).
6. 박선중, 김대근, 안순섭, 강주환(2007). 조석의 영향을 받는 영산강 하류부의 수리학적 홍수추적, 대한토목학회 논문집, 제27권 제II-B호.